

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ОДНОФАЗНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ПРОЦЕССЕ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ

Базлов А.И.

Руководитель – доц. к.т.н. Чурюмов А.Ю.

ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва
churyumov@misis.ru

Целью данной работы является получение математической модели связи напряжения течения, скорости и температуры при горячей деформации алюминиевых однофазных сплавов систем Al-Cu, Al-Mg, Al-Zn.

Микроструктура образцов в исходном состоянии представляла из себя крупные зерна твердого раствора магния, меди и цинка в алюминии. Размеры зерен 0,2 – 1,1 мм.

Экспериментальные зависимости напряжения течения от скорости, температуры и степени деформации получали испытаниями на сжатие цилиндрических образцов высотой 15 мм и диаметром 10 мм.

Кривые сжатия были получены при следующих скоростях и температурах: 0,1 с⁻¹, 1 с⁻¹, 10 с⁻¹, 30 с⁻¹, 200° С, 300° С, 400° С, 500° С. Такие параметры деформации наиболее характерны для процессов горячей обработки металлов давлением, таких как ковка, прокатка, прессование, волочение и др.

На рисунке 1 представлены зависимости напряжения от температуры при постоянной скорости деформации и равной атомной доле легирующих элементов. Анализ влияния разных легирующих элементов на горячую деформацию алюминиевых сплавов показал, что максимальное упрочнение наблюдается при легировании алюминия медью, что можно объяснить возможным выделением меди из твердого раствора, т.к. деформация проходила в двухфазной области, что также косвенно доказывает тот факт, что с увеличением температуры деформации уменьшается разница в напряжении течения при деформации сплавов, легированных медью и магнием. Легирование цинком не оказывает сильного влияния на прочность сплавов при горячей деформации, что объясняется малым размерным несоответствием атомов цинка и алюминия.

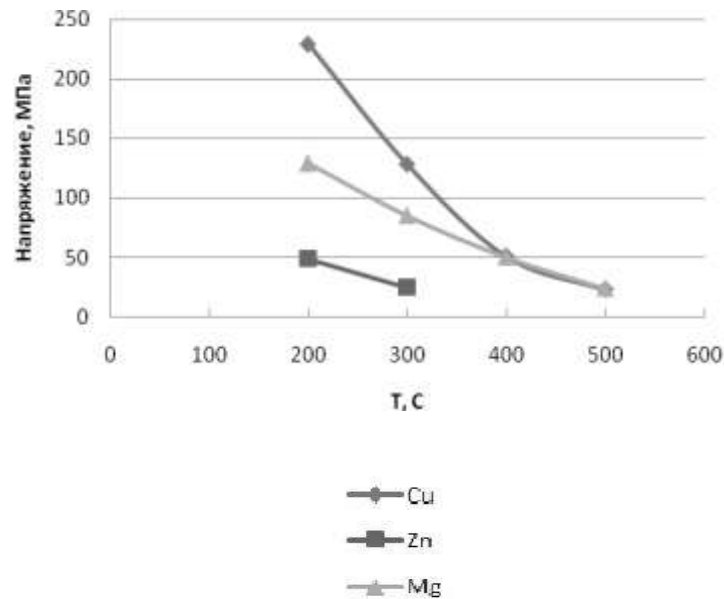


Рисунок 1 – Влияние легирующего элемента и температуры деформации на уровень напряжения ($\dot{\epsilon}=0,1 \text{ с}^{-1}$, $\epsilon=0,5$)

Для моделирования зависимости напряжения течения от скорости и температуры деформации, наиболее общепринятым уравнением является (1):

$$\dot{\epsilon} = A \sinh(\alpha \sigma)^n \exp\left(\frac{Q}{RT}\right), \quad (1)$$

где σ – напряжение течения, МПа;

$\dot{\epsilon}$ – скорость деформации, с^{-1} ;

Q – энергия активации пластической деформации, Дж/моль;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

T – температура деформации, К;

A , α , n – коэффициенты;

Линейная зависимость между логарифмом гиперболического синуса напряжения течения, логарифмом скорости деформации и обратной температурой может быть получена логарифмированием уравнения (1):

$$n \cdot \ln(\sinh(\alpha \sigma)) = -\ln A + \ln \dot{\epsilon} - \frac{Q}{RT} \quad (2)$$

В координатах $\ln(\sinh(\alpha \sigma)) - \ln \dot{\epsilon} - 1/RT$ данная зависимость будет иметь вид плоскости. При этом значение коэффициента α выбиралось таким образом, чтобы экспериментальные данные соответствовали линейной зависимости (2). Оптимальное значение данного коэффициента

оказалось равным 0,05. При этом коэффициент линейной регрессии был больше 0,94.

Методом минимизации ошибки между расчетными и экспериментальными значениями были получены численные значения неизвестных констант для установившейся стадии. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений представлено на рисунках 2.

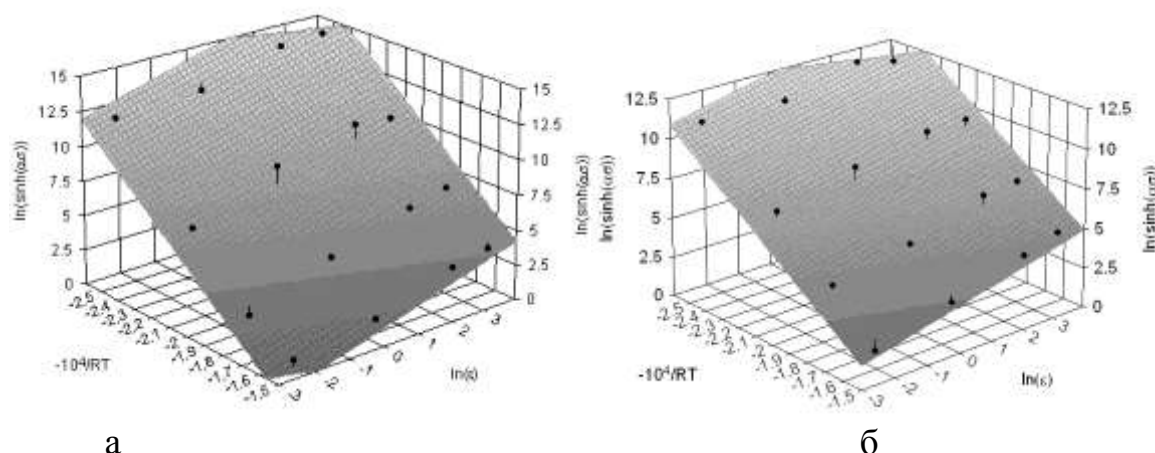


Рисунок 2 – Сопоставление расчетных и экспериментальных данных (а - Al-3 %Cu, б - Al-2,15 %Mg)

Таким образом были получены количественные зависимости напряжения течения от параметров горячей деформации. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений показало, что средняя ошибка расчета составляет 6 %, что сопоставимо с экспериментальным определением свойства.